

# 混合液回流比对膜工艺处理效果影响的研究

王素兰, 段胜君, 于洁, 邢传宏

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**以混合型城市污水为研究对象,采用膜生物反应器强化脱氮除磷集成工艺,探讨了不同混合液回流比对该工艺脱氮除磷的影响.结果表明,混合液回流比对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  影响不大;随着回流比的增大, TN 的平均去除率逐渐提高,当回流比从 1.5 增加到 2.0 时,随着回流比的增加去除率明显增大,由 2.0 增加到 3.0 时,增加幅度有限; TP 的平均去除率随回流比先增大后减小,在回流比为 2.0 时 TP 平均去除率最大.综合考虑,该工艺的最佳回流比为 2.0.

**关键词:**膜工艺;脱氮除磷;混合液回流比

**中图分类号:** X703.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.015

## 0 引言

膜生物反应器(MBR)以其处理效果好、占地面积少<sup>[1]</sup>、剩余污泥产率低<sup>[2]</sup>、容积负荷高等独特优点日益受到污水处理界的关注.由于 MBR 工艺能够处理高浓度生活废水、难降解性工业废水,近年来已被广泛应用到生活污水、工业废水、农业废水、畜牧业废水的处理过程中,在脱氮除磷过程中也具有极大潜力<sup>[3]</sup>.然而,环境因素、水质条件和运行参数等因素仍会制约脱氮除磷的效果.

一般环境因素和水质条件不易人为控制,需根据进水条件的波动范围调整运行参数以期获得良好稳定的出水水质<sup>[4]</sup>.因此,为取得良好的脱氮除磷的效果,必须对进水流量比、曝气量、污泥回流比、外碳源投加量等运行参数进行合理控制和优化<sup>[5]</sup>,其中,污泥回流比(R)是一个重要的控制参数,能够维持稳定的活性污泥量和正常的处理过程.调整合适的回流比使 DN/PAOs 的富集程度达到最大,便于在缺氧段为 DN/PAOs 提供足够的电子受体,使其在缺氧段能够同步实现反硝化脱氮与过量吸磷,实现一碳两用,缓解了 PAOs 与反硝化菌对碳源的竞争<sup>[6]</sup>.

本试验采用膜生物反应器强化脱氮除磷集成工艺,以城市污水处理厂沉砂池出水为研究对象,分析研究了回流比为 1.5、2.0、2.5、3.0 时该工艺

的脱氮除磷效果.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

MBR 集成工艺流程图见图 1 所示.

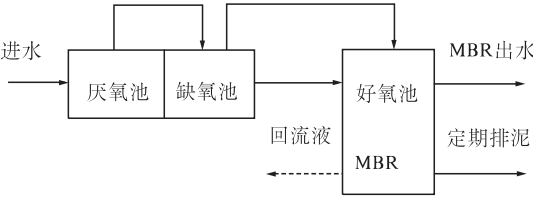


图 1 MBR 集成工艺流程图

Fig.1 Experimental flow chart of MBR process

试验装置由厌缺氧一体池、好氧池(内放置膜组件)组成.装置由有机玻璃制成,厌氧区、缺氧区、好氧区的有效容积分别为 200 L、75 L、300 L.为使污泥充分处于悬浮状态,厌氧区内设搅拌器,缺氧区下部设气管进行搅拌.厌氧区、缺氧区、好氧区的水力停留时间分别为 4.0 h、1.5 h、6.0 h,共 11.5 h.通过排泥控制 SRT 在 15 d. DO 控制在 2~4 mg/L 之间.由于厌氧区与缺氧区设为一体,省去了回流装置,仅设好氧区向缺氧区的回流.

试验膜组件采用的膜材料为耐生物降解的聚偏氟乙烯(PVDF),膜孔径为 0.2  $\mu\text{m}$ ,膜面积为 5.0  $\text{m}^2$ .在膜组件下方进行曝气,使空气形成上浮

收稿日期:2013-09-07;修订日期:2013-11-13

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07210-001-001)

作者简介:王素兰(1971-),女,河南安阳人,郑州大学副教授,博士,主要从事水污染控制理论与技术研究,E-mail:wangsl@zzu.edu.cn.

的微气泡,在曝气的同时,又使膜表面产生一定的剪切应力,利于膜的表面除污,降低膜表面大分子物质的沉积。

1.2 试验用水和接种污泥

试验在某城市污水处理厂进行,试验进水为该厂二期沉砂池出水,经高位水箱提升后进入试验装置.设计进水流量为  $41.7\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ . 进水水质特征见表 1.

表 1 水质特征

Tab. 1 Influent quality

指标	COD/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3\text{-N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	pH
范围	221~947	17.5~29.1	1.67~11.2	14~58	6~8

试验接种污泥取自该污水处理厂二沉池的回流污泥。

1.3 监测指标及方法

该试验的监测指标及方法如表 2 所示。

表 2 监测指标及方法

Tab. 2 Monitoring guidelines and methods

序号	指标	方法	测量仪器
1	DO	哈希便携式 DO 仪测定法	哈希 sension6 DO 仪
2	TP	哈希快速测定法	哈希 DR2800 便携式分光光度计
3	$\text{NH}_3\text{-N}$	哈希快速测定法	哈希 DR2800 便携式分光光度计
4	$\text{NO}_3\text{-N}$	国标法 <sup>[7]</sup>	离子色谱仪
5	$\text{NO}_2\text{-N}$	国标法 <sup>[7]</sup>	紫外可见分光光度计
6	TN	哈希快速测定法	哈希 DR2800 便携式分光光度计
7	COD	哈希快速测定法	哈希 DR2800 便携式分光光度计

2 结果与讨论

2.1 混合液回流比对 COD 去除效果的影响

不同回流比下 COD 的去除效果见图 2 所示。试验期间,进水 COD 浓度在  $221\sim 947\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间波动,出水 COD 稳定,基本低于  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,只有个别天出水 COD 浓度略高于  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,出水 COD 的平均浓度为  $26.22\text{ mg/L}$ ,平均去除率为  $94.23\%$ ,最高去除率可达  $98.53\%$ ,优于 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

在回流比为 1.5、2.0、2.5、3.0 时,出水 COD 的平均浓度分别为  $23.3\text{ mg/L}$ 、 $26.68\text{ mg/L}$ 、 $24.50\text{ mg/L}$ 、 $31.16\text{ mg/L}$ ,平均去除率为  $93.87\%$ 、

$93.13\%$ 、 $94.42\%$ 、 $95.48\%$ 。COD 平均去除率变化有限,故回流比对 COD 的去除效果影响不大。分析图 2 可得,当回流比等于 1.5 时,COD 在厌氧区、好氧区下降幅度较大,COD 主要被聚磷菌、好氧异养菌及反硝化菌所利用,相比较缺氧区的降低幅度较小,主要是当回流比较小时反硝化菌在缺氧区可利用的电子受体较少,反硝化菌的活性受到抑制;当回流比大于 2 时,厌氧区、缺氧区下降幅度较大,在好氧区下降幅度较小,分析原因:一方面,回流比越大,缺氧区的  $\text{NO}_3\text{-N}$  或硝态氮负荷越高,需要的 COD 越多,反硝化越充分;另一方面,提高缺氧区的  $\text{NO}_3\text{-N}$  或硝态氮负荷,DPAOs 的活性越强,厌氧区吸收的 VFAs 越多,COD 在厌氧区的降幅越大<sup>[8]</sup>。另外,膜的截留作用对胶体和颗粒状态的 COD 去除效果加强,进一步提高了出水水质<sup>[9]</sup>。

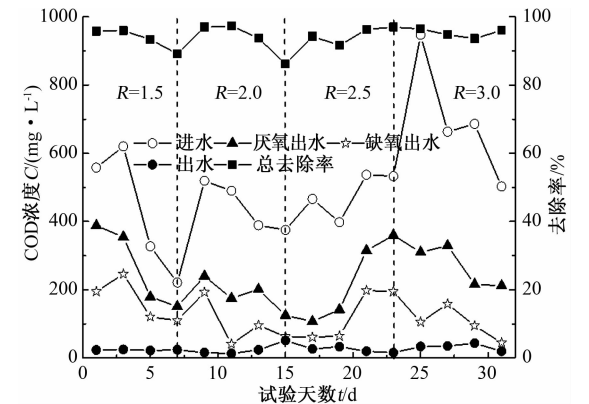


图 2 不同回流比下 COD 的去除效果图  
Fig. 2 The diagram of COD removal effect on different reflux ratio

2.2 混合液回流比对  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果的影响

不同回流比下  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果见图 3 所示。

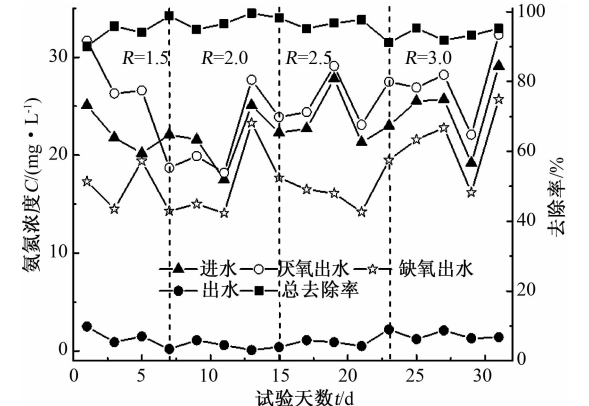


图 3 不同回流比下  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果图  
Fig. 3 The diagram of  $\text{NH}_3\text{-N}$  removal effect on different reflux ratio

由图 3 知, 试验期间, 进水氨氮浓度维持在  $17.5 \sim 29.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 出水氨氮的平均浓度为  $1.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 平均去除率为 93.88%。试验过程中较高的曝气量和较高的污泥浓度为硝化过程创造了良好的条件, 即使在低温条件下仍能取得较好的硝化效果<sup>[10]</sup>。氨氮主要在好氧池内通过硝化作用得到去除, 另外膜的截留作用进一步提高了出水水质。

在回流比为 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 时, 出水氨氮的平均浓度分别为 1.52, 1.30, 1.30, 1.38  $\text{mg/L}$ , 平均去除率为 93.53%, 94.03%, 94.59%, 94.30%。各种回流比条件下, 出水氨氮的平均浓度均小于 2  $\text{mg/L}$ , 平均去除率在 94% 左右, 可见回流比对氨氮的去除效果影响不大。

### 2.3 混合液回流比对 TN 去除效果的影响

不同回流比下 TN 的去除效果见图 4 所示。

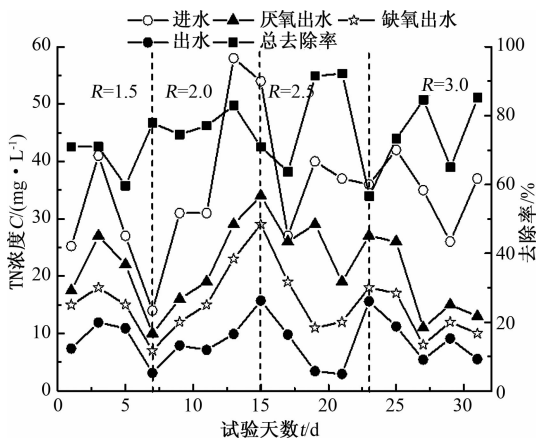


图 4 不同回流比下 TN 的去除效果图

Fig. 4 The diagram of TN removal effect on different reflux ratio

试验期间, 进水 TN 浓度在  $14 \sim 58 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 变化范围较大, 但出水基本低于  $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 出水 TN 的平均浓度为  $9.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 平均去除率为 74.59%, 优于《城镇污水处理厂污染物 GB18918—2002 排放标准》一级 A 标准。

在回流比为 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 时, 出水 TN 的平均浓度分别为 8.55, 9.36, 7.52, 7.44  $\text{mg/L}$ , 平均去除率为 70.44%, 76.13%, 77.44%, 77.97%。随着回流比的增大, TN 的平均去除率逐渐提高, 当回流比从 1.5 增加到 2.0 时, 随着回流比的增加去除率明显增大, 由 2.0 增加到 3.0 时, 增加幅度有限。分析原因: 回流比增加可为缺氧段提供更多的  $\text{NO}_3\text{-N}$  作为反硝化反应的电子受体, 有利于系统脱氮, 但当回流比增大时, 由硝化液携带进入缺氧段的氧也会增加, 增大到一定量时就

会抑制反硝化菌的活性。

### 2.4 混合液回流比对 TP 去除效果的影响

不同回流比下 TP 的去除效果见图 5 所示。

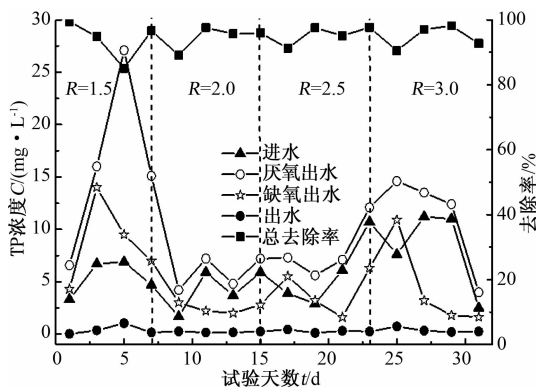


图 5 不同回流比下 TP 的去除效果图

Fig. 5 The diagram of TP removal effect on different reflux ratio

由图 5, 进水 TP 浓度在  $1.67 \sim 11.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 出水 TP 的平均浓度为  $0.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 平均去除率为 93.62%, 最高去除率为 99.46%, 优于 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

在回流比为 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 时, 出水 TP 的平均浓度分别为 0.37, 0.19, 0.32, 0.46  $\text{mg/L}$ , 平均去除率为 94.39%, 95.18%, 94.26%, 93.92%。随着回流比的增大, TP 的平均去除率先增大后减小, 在回流比为 2.0 时最大。分析原因: 回流比较大时, 回流液中含有大量硝酸盐, 因此引起反硝化菌的优势生长, 而释磷菌被淘汰, 影响厌氧区磷的释放, 同时 PHB 也不能生成导致缺氧区吸磷量降低。也有研究表明<sup>[11]</sup>: 磷的去除效果在很大程度上取决于缺氧环境中的硝酸盐浓度, 硝酸盐浓度不足则磷的过量摄取受限, 硝酸盐浓度过高时带入厌氧段的硝酸盐会影响磷的释放。

## 3 结论

(1) 该集成工艺对混合型城市污水具有良好的脱氮除磷效果。系统正常运行情况下, COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 的平均去除率分别为 94.23%, 93.88%, 74.59%, 93.62%, 平均出水浓度分别为 26.22, 1.42, 9.51, 0.32  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 各指标出水均优于 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

(2) 混合液回流比对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  影响不大; 随着回流比的增大, TN 的平均去除率逐渐提高, 当回流比从 1.5 增加到 2.0 时, 随着回流比的增

加去除率明显增大,由 2.0 增加到 3.0 时,增加幅度有限;TP 的平均去除率随回流比先增大后减小,在回流比为 2.0 时 TP 平均去除率最大. 综合考虑系统能耗和去除效果,该工艺的最佳回流比为 2.0.

参考文献:

[1] ADHAM S,GAGLIARDO P,BOULOS L, et al. Feasibility of the membrane bioreactor process for water rec-lamation[J]. Water Science and Technology, 2001, 43(10):203-209.

[2] TRUSSELL R S,MERLO R P. HERMANOWICZ S W, et al. Influence of mixed liquor properties and aeration intensity on membrane fouling in a submerged mem-brane bioreactor at high mixed liquor suspended solids concentrations[J]. Water Res. , 2007, 41(5):947-958.

[3] 陈晓阳,薛智勇,肖景霓,等. 曝气强度对 AOA 膜生-物反应器脱氮除磷性能的影响[J]. 环境科学 , 2011,32(10):2979-2985.

[4] 李艳平,刘强,李思敏,等. 改良型氧化沟脱氮除磷-的正交试验研究[J]. 河北工程大学学报,2011,8

(3):42-46.

[5] 王伟,彭永臻,孙亚男,等. 污泥回流比对分段进水 A/O 生物脱氮工艺的影响[J]. 中国环境科学, 2008,28(2):116-120.

[6] 王朝朝,李军,陈瑜,等. 强化除磷膜生物反应器的-缺氧吸磷特性[J]. 中国给水排水,2011,27(19):1-5.

[7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:104-106.

[8] 陈永志,彭永臻,王建华,等. A2/O 一曝气生物滤池-工艺反硝化除磷[J]. 化工学报,2011,62(3):797-804.

[9] 王朝朝,李军,高金华,等. A2O/MBR 的抗冲击负荷-性能与脱氮除磷优化[J]. 中国给水排水,2010,26(21):38-42.

[10] 陆继来,程兵,任洪强,等. A/O MBR 同步脱氮除磷-技术研究[J]. 中国给水排水,2010,26(11):68-70.

[11] 刘爱萍,李开明,陈中颖,等. 膜生物反应器同步脱-氮除磷研究进展[J]. 工业水处理,2006,26(7):1-3.

Study on the Effect of Mixed Liquid Recycle Ratio on Membrane Process

WANG Su-lan, DUAN Sheng-jun, YU Jie, XING Chuan-hong

(School of Water Conservation and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to discuss the nitrogen and phosphorus removal effect under different reflux ratio in the process,the mixed municipal wastewater was used as the research object and the membrane bioreactor process of enhanced nitrogen and phosphorus removal was used to do the pilot study. The results show that,mixed liq-uid recycle ratio had little effect on COD,NH<sub>3</sub>-N removal; when the reflux ratio increased,the average removal rate of TN increased gradually,while the reflux ratio increasing from 0.5 to 2,the removal rate increased signif-icantly,and while increasing from 2 to 3,the increased amplitude was limited. With reflux ratio increasing ,the average removal rate of TP increased first and then decreased,when the reflux ratio was 2,the average removal rate of TP was largest. On comprehensive consideration,the optimum reflux ratio of the process is 2.

**Key words:** membrane process; phosphorus removal and nitrogen removal; mixed liquid recycle ratio